

KEK INJECTOR UPGRADE FOR THE 4-RINGS SIMULTANEOUS INJECTION

Masanori Satoh¹, for the IUC members²
Accelerator Laboratory, KEK
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

Abstract (英語)

The KEK linac is the injector for the four rings (KEKB e-/ e+, PF and PF-AR). In the present KEKB operation, the continuous injection has been performed with a frequent switch of the e-/ e+ linac beam mode. In the future, PF ring needs the top-up beam operation. For these reasons, the injector linac upgrade is indispensable for the simultaneous injection. In this paper, we will present the linac upgrade plan related to the simultaneous injection in detail.

4リング同時入射のためのKEK入射器アップグレード

1. はじめに

KEK入射器は、4つのリング(KEKB HER/ LER, PF, PF-AR)へ、異なるモード(エネルギー・電荷量)のビームを供給している。通常、PF及びPF-ARリングへは定時入射を行い、それ以外のほぼ全ての時間は、KEKBの2つのリングへ連続的なビーム入射を行っている。

しかしながら、マシンスタディ時には各リングへの入射時間配分が困難となる上、将来計画されているPFリングへのトップアップ運転及びSuper-KEKBでの電子・陽電子同時入射を考慮すると、4つのリングへ同時にビームを入射することが必要不可欠となる。このため、昨年春から活動を開始したIUC(Injector Upgrade Committee)において、同時入射に関する具体的な検討が開始された。本原稿では、4リング同時入射に向けたKEK入射器のアップグレード計画について報告する。

2. 入射器ビーム運転の現状

KEK入射器は、PFリング専用入射器として建設された後、TRISTAN-ARリングの入射器としても運用され、現在では、4つの異なるリングへビームの供給を行っている。図1に、2004年の入射器ビーム運転統計を示す。毎年2ヶ月間(7、8月)の夏期長期メンテナンス・2週間に1度の定期メンテナンス及び年末年始の1週間程度を除いて、常時24時間体制でビーム運転を行っている。

KEKBリングでは、2004年初頭より連続入射運転を開始した。これは、入射器のビームモードを頻繁に切り替えることにより、電子・陽電子リングへ連続的にビームを入射する運転方式である。これにより、両リングの蓄積電流値をほぼ一定に保つことができ、衝突実験のためのビームパラメータの微調整を安定に行うことが可能となった。図1より、ビーム

ム運転時間の8割程度がKEKB陽電子ビーム入射に当てられていることが分かる。一方、他のリングは、

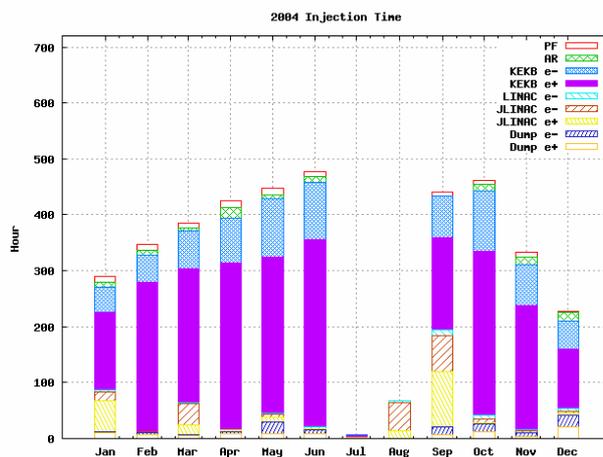


図1: KEK入射器のビーム運転統計

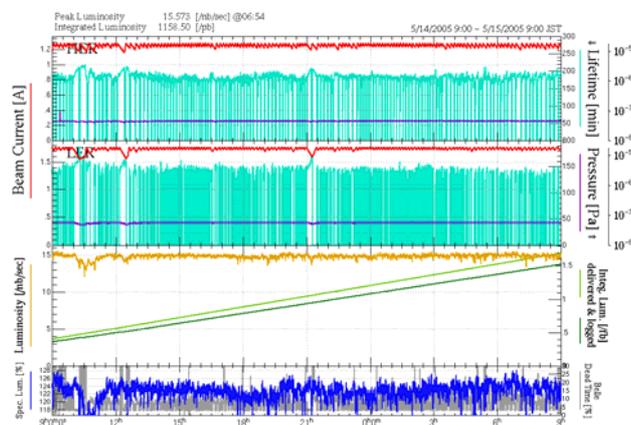


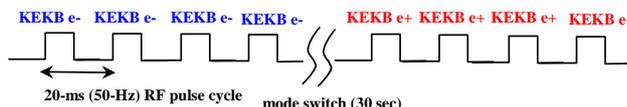
図2: KEKBリングの運転状況1(定常時)

上段より、HER(電子)・LER(陽電子)リングの蓄積電流値、Luminosity及びSpecific luminosityを示している。

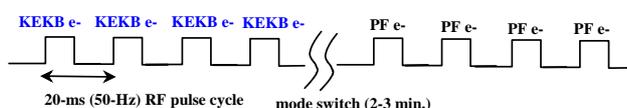
¹ E-mail: masanori.satoh@kek.jp

² PF光源・KEKB・入射器メンバーから構成される共同チーム

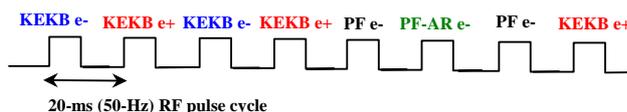
定時入射を行っている(PF:1回, PF-AR:2回/日)。図2は、KEKBリングの典型的な運転例を表している。上から、電子及び陽電子リングの蓄積電流値・Luminosity・Specific luminosityを表している。数ヶ所ある蓄積電流値の減少は、他リングの定時入射中であり、それ以外では、蓄積電流値及びLuminosityがほぼ一定に保たれていることが見て取れる。図3(a)は、KEKB連続入射運転中の入射器ビームモード遷移状態を表している。電子・陽電子モードを定期的に切り替えることにより、KEKBの両リングへ連続的にビームを供給している。モード切り替えでは、電磁石磁場やタイミング系の設定値変更などが行われ、通常30秒以内で完了する。一方、KEKBモードからPF・PF-ARモードへの切り替えには、通常2~3分程度を要する(図3(b))。これは、ECS(エネルギー圧縮装置)など、PF・PF-ARモードでは不要な磁石磁場を消磁した後、ビーム軌道が安定化するまでに時間を要するためである。



(a) KEKB連続入射モード



(b) KEKBモードからPF及びPF-ARモードへの切り替え



(c) 同時入射 (アップグレード後)

図3: 入射器のビームモード

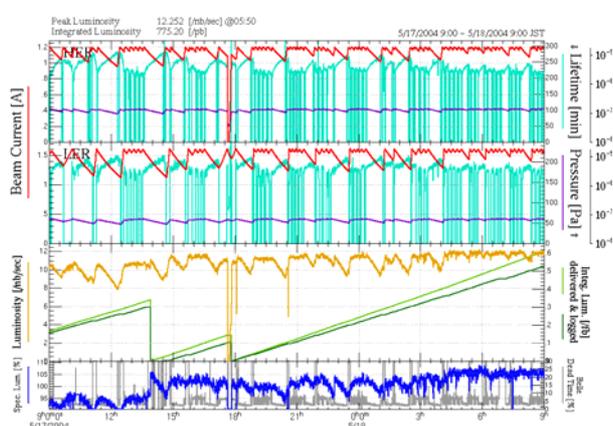


図4: KEKBリングの運転状況2 (他リングマシンスタディ時)

図4は、PF・PF-ARマシンスタディ時のKEKBリング運転例を表している。他のリングが入射器を占有した場合、KEKBの蓄積電流値は徐々に減衰し、Luminosityが低下する。また、電子・陽電子の蓄積電流値比率が変化するために、ビームが不安定な状態となりやすく、ビームアボートの危険性が高まる。さらに、Luminosityを最適化するためのパラメータには電流依存性があるため、ビーム調整が困難となる。

一方、このような事態は、PF及びPF-ARリング側の運転から見ると、連続入射を必要とするマシンスタディを頻繁に行うことが困難であり、将来的なTop-up運転実現への高い障害となる。問題の抜本的解決には、入射器のビームモードをパルス毎(50 Hz)に切り替え、任意のリングへ入射する必要がある(図4(c))。このような同時入射を実現するために、入射器アップグレードの検討が開始された。

3. アップグレード計画

4リング同時入射のためのアップグレード計画は、下記の三段階から構成される。

3.1 Phase-I(新規PF-BTラインの建設)

図5に、入射器最下流にある第三ビームスイッチヤードの見取り図を示す。Phase-Iでは、新規にPF-BTラインを建設する。現行のPF-BTラインは、ECS電磁石近傍に設置されているため、KEKBモードからの切り替えに時間を要する。これを解消するため、本年夏期長期メンテナンス時に、ECSをバイパスした経路で新PF-BTを建設する(図5の太線部分)。

本工事では、5-8ユニットと呼ばれる入射器最下流の加速ユニット(加速管4本)を撤去し、振り分け用のDC偏向電磁石を設置する。これにより、本年秋からのビーム運転では、PFモードへのビーム切り替え時間が30秒以下に短縮化される。また、来年夏までには、DC偏向電磁石をパルス偏向電磁石に置き換える予定である。5-8ユニット撤去に伴うエネルギーゲインの低下分は、仮入射部の改造によって補償する。

3.2 Phase-II(KEKB e-, PFの同時入射)

Phase-IIでは、KEKB電子及びPFリングの同時入射を実現する。現在のKEKBモードでは、A1電子銃と呼ばれる、入射器最上流の電子銃を使用している。PF・PF-ARモードでは、それより下流のCT電子銃を使用している。同時入射のためには、すべてのモードにおいて同一電子銃を用いる必要がある。Phase-IIでは、まず、PFモードのビームをA1電子銃から出力するための改造を行う。

3.3 Phase-III(4リング同時入射)

Phase-IIIでは、KEKB陽電子及びPF-ARも含めた4リング同時入射を目指す。このため、すべてのモードに於いてA1電子銃を使用する。

現状の入射器システムでは、陽電子生成標的を機械的に出し入れすることにより、電子・陽電子モードを切り替えている。この様な方式を用いる限り、高速なモード切り替えは実現不可能である。そこで我々は、陽電子標的の近傍に穴をあけ、電子ビームの軌道を制御することにより、電子・陽電子モードの高速切り替えを実現する。本年夏期メンテナンス時に、陽電子標的の交換を行い、秋以降のマシスタディにおいてその有効性を検証する。

4. 異なるモードのビーム輸送

4リングの同時入射を行うためには、高速なビームモード切り替えが必要不可欠である。入射器のビームモード切り替えでは、電磁石磁場・電子銃グリッド電圧・タイミングシステム及びクライストロンRF位相などの設定値を変更している。このうち、現システムを用いた場合には、磁石磁場の高速制御は不可能である。しかしながら、全電磁石システムのパルス化などの大規模なシステム更新は、膨大なコスト及び労力を必要とするため現実的ではない。そこで、我々は、"Multi-energy Linac"と呼ばれる方式を用いることにより、高速モード切り替えを実現する。

本方式では、異なるビームモードすなわち、異なるエネルギー・電荷量のビームを加速する場合も、同一の電磁石磁場を用いる。ビームエネルギーに関しては、励振系RF位相を高速制御することにより制御する。この方式は、計算機シミュレーション及びマシスタディによって、実運転に適用可能であ

ることが確かめられた。マシスタディでは、低エネルギービームに最適化した磁石磁場を用いて、高エネルギーのビームを透過させることにより、エミッタンス及びビーム軌道の劣化がないことを確認した。

また、4つのビームモードを同時に満足する様な軌道補正アルゴリズムも考案され、最適解の存在が計算機シミュレーションで確かめられた。秋以降も、さらに詳細なマシスタディを行うことにより、実運転への適用性を高めていく。

5. まとめと今後の課題

本計画の目的は、入射器のビームモードをパルス毎に切り替えることにより、4つのリングへの同時ビーム入射を行うことである。これにより、各リングは他リングの運転状況に依存することなく、ビーム運転を行うことが可能となる。

現行システムにおいて使用している機器や予備品を最大限に活用することで、アップグレードに必要なとされる労力・コストを最小限に抑えた。また、異なるビームモードを同一の磁石磁場により加速するスキームの考案・実現可能性を確かめた。

今後は、実運転モードの具体的なかつ詳細な検討を行い、問題点の洗い出しや解決策に関して検討する。特に、運転形態が複雑になるために、ビーム運転の基幹システムであるタイミング系の改造・試験に関する詳細検討が重要である。また、PF-ARに関する同時入射方式が固まっていらないが、具体案を年内までにまとめる予定である。

本計画が完了し、4リングへの同時入射が可能となれば、各リングのアクティビティが更に向上することが期待される。

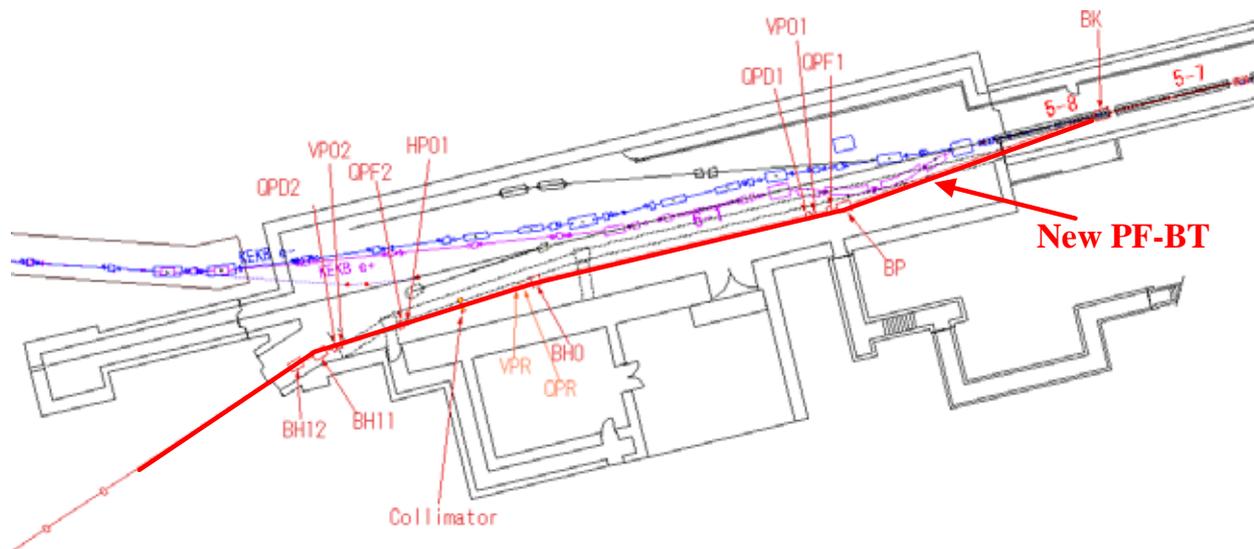


図5：入射器第三ビームスイッチヤード及び新PF-BTライン（太線）